杏鲍菇菌糠饲料的发酵条件及其对山羊的饲喂效果

高旭红[1]　窦林敏[2]　李佳腾[1]　陈　磊[2]　张恩平[1*]

（1.西北农林科技大学动物科技学院，杨凌 712100；2.陕西国人菌业科技产业园有限公司，宝鸡 721000）

摘　要：本试验旨在探究杏鲍菇菌糠与豆粕、麸皮复合发酵基质的适宜发酵条件，并研究其对山羊的饲喂效果。试验1，以杏鲍菇菌糠为主要原料，添加不同比例的麸皮和豆粕（4%和4%、4%和2%、2%和4%、2%和2%），发酵剂使用有效微生物群（EM）原液，将发酵混合原料含水量调节至30%左右，在常温下厌氧发酵12 d后对发酵杏鲍菇菌糠饲料的发酵品质及营养成分含量进行评定，并测定黄曲霉毒素B_1的含量，取最优组合进行饲养试验。试验2，选用60只马头山羊（羯羊），随机分为5组，包括3个试验组和2个对照组，试验组饲粮中发酵杏鲍菇菌糠饲料比例分别为30%、45%、60%，对照组未发酵杏鲍菇菌糠比例分别为30%和60%，每组3个重复，每个重复4只羊。试验期为45 d，包括5 d预试期和40 d正试期。结果表明：1）豆粕和麸皮添加比例分别为4%和2%的发酵杏鲍菇菌糠饲料发酵品质最佳，且黄曲霉毒素B_1含量较低，与未发酵杏鲍菇菌糠相比,粗纤维、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量分别降低了8.78%、11.56%和18.88%，粗蛋白质和粗灰分含量分别提高了19.32%和8.29%，黄曲霉毒素B_1含量低至3.03 μg/kg。2）各组山羊的生产性能差异均不显著（P>0.05）；随着发酵杏鲍菇菌糠饲料添加比例的增加，试验羊的体增重及平均日增重有减少的趋势，料重比和饲料成本有增加的趋势；与未发酵杏鲍菇菌糠添加比例为30%时相比，发酵杏鲍菇菌糠饲料添加比例为30%时体增重、平均日增重及干物质采食量提高，料重比降低。结果提示，使用EM原液发酵杏鲍菇菌糠，在发酵基质中添加4%的豆粕和2%的麸皮有助于提升发酵品质；发酵杏鲍菇菌糠饲料在山羊饲粮中添加比例以30%为最佳。

关键词：杏鲍菇菌糠；发酵饲料；马头山羊；生产性能

中图分类号:S826

饲料原料的匮乏和其成本问题一直是制约养殖业发展的重要因素，而且近年来越演越烈[1]。因此，尽快开发新型饲料资源迫在眉睫。我国作为食用菌生产大国，每年会生产上百万吨的食用菌，与此同时会产生大约 2.5 倍于食用菌产量的菌糠。据不完全统计，2016 年全国食用菌总产量已达 $2.57×10^7$ t，菌糠全年产量约 $6.43×10^7$ t。但由于菌类生产企业缺乏对菌糠资源再利用的意识和相关技术，通常将菌糠

收稿日期：2017-10-31

基金项目：国家重点研发计划项目（2016YFD0500508）；陕西省重点研发计划项目饲料产业创新链（201TSCXL-NY-04-02）；陕西省农业科技创新转化项目（NYKJ-2016-04）

作者简介：高旭红(1992-)，女，宁夏吴忠人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: 1298920574@qq.com

*通信作者：张恩平，教授，硕士生导师，E-mail: zhangenping@nwsuaf.edu.cn

作为废弃物丢弃或焚烧，既浪费了资源又造成环境污染。因此，开发合理利用菌糠资源的相关技术，特别是研发菌糠饲料化利用技术具有重要的生态意义和广阔的市场前景。

菌糠饲料是以中上等品质的菌糠为主要原料，经过适当的生物处理和机械加工后制成的畜禽饲粮。诸多研究表明，在反刍动物饲粮中添加菌糠饲料饲喂后的经济效益高于一些常规饲料（玉米秸秆[2]、玉米[3]、干稻草[4]、苜蓿干草[5]、小麦秸秆[6]、玉米芯[7]）。但由于菌糠的成分主要由木屑、棉籽壳、玉米芯、农业秸秆等高纤维原料组成，导致其适口性差、消化率低，成为阻碍菌糠进一步利用的障碍[8]。而微生物发酵的饲料调制方式有效解决了这一问题，利用酶的生物催化功能降解杏鲍菇菌糠的纤维素和半纤维素成分，提高菌糠的柔软性和膨胀度，产生易于反刍动物消化吸收的糖类、氨基酸、维生素等营养物质，以提高杏鲍菇菌糠的饲用性[9-10]。

杏鲍菇菌糠的饲料化应用有很大的潜力，其蛋白质含量和氨基酸组成与玉米接近，粗纤维含量又与粗饲料接近，是一种优良的“中性”饲料。作为廉价、易开发的非常规饲料，菌糠不受季节影响全年均可供应。因此，本试验使用EM原液对杏鲍菇菌糠与豆粕、麸皮复合基质进行发酵，以解决菌糠饲料适口性差、纤维含量高的问题；并以不同添加量的发酵杏鲍菇菌糠饲料配制马头山羊饲粮，研究发酵杏鲍菇菌糠饲料对马头山羊生产性能的影响，为开发反刍动物饲料资源，高效利用菌糠提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

杏鲍菇菌糠由陕西国人菌业产业科技园有限公司提供，主要原料为玉米芯等。麸皮、豆粕、食盐和红糖均购自陕西省杨凌市某市场。发酵原料营养水平见表1。发酵剂使用市售某品牌有效微生物群（EM）原液（内含乳酸菌、酵母菌、芽孢杆菌、放线菌和光合细菌，活菌数均≥1×10^{7} CFU/mL）。

表1 发酵原料营养水平

Table 1 Nutrient levels of fermentation raw materials %

项目 Items	干物质 DM	粗纤维 CF	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	粗灰分 Ash	粗蛋白质 CP
杏鲍菇菌糠 *Pleurotus eryngii* waste sticks	93.50	27.21	66.26	51.32	11.34	9.68
麸皮 Bran	92.00	6.08	29.58	7.40	3.89	16.01
豆粕 Soybean meal	90.45	6.08	12.12	9.10	5.85	45.63

实测值 Measured values。

1.2 试验设计

1.2.1 试验1——杏鲍菇菌糠发酵试验

麸皮和豆粕占发酵基质的干物质比例分别为4%和4%、4%和2%、2%和4%、2%和2%；使用EM原

液为发酵剂，接种量为0.16%（干物质基础）。将发酵原料与EM发酵液在饲料搅拌器中混合均匀并将含水量调节至30%左右装袋密封，每袋装1 kg，每个处理3个重复，常温（30±2） ℃发酵12 d，开袋取样，评定发酵品质，选出最优发酵基质组合用于生产发酵杏鲍菇菌糠饲料，利用其配制饲粮进行山羊饲养试验。

1.2.2 试验2——饲养试验

饲养试验于2017年4月23日－2017年6月6日在陕西省宝鸡市裕隆生态养殖专业合作社进行。整个试验期为45 d，包括5 d预试期和40 d正试期。选用体重为（27.98±4.95） kg的马头山羊（羯羊）60只，按同质原则随机分为5组，包括3个试验组和2个对照组，每组3个重复，每个重复4只羊。

试验饲粮参照《肉羊饲养标准》NY/T 816-2004标准配制。在保证各组饲粮粗蛋白质和能量水平一致的情况下，试验组饲粮使用发酵杏鲍菇菌糠饲料做原料，各组饲粮中比例分别为30%、45%、60%；对照组使用未发酵杏鲍菇菌糠做原料，各组饲粮中比例分别为30%和60%。试验饲粮制成全混合颗粒料饲喂。试验饲粮组成及营养水平见表2。

试验开始前给试验羊编号、驱虫和防疫，并清理消毒圈舍。试验羊实行全舍饲饲养，饲养管理条件相同，按重复分栏饲喂。每日 08：00 及 17：00 各投料 1 次，自由采食，自动饮水器饮水。次日饲喂前清扫料槽并称量前 1 天剩余饲料，统计采食量。

表2 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis) %

项目 Items	发酵杏鲍菇菌糠饲料添加比例 Fermented *Pleurotus eryngii* waste sticks feed supplemental ratio/%			未发酵杏鲍菇菌糠添加比例 Unfermented *Pleurotus eryngii* waste sticks supplemental ratio/%	
	30	45	60	30	60
原料 Ingredients					
玉米 Corn	41.70	28.15	16.09	41.70	16.09
豆粕 Soybean meal	11.50	12.00	13.00	11.50	13.00
麸皮 Bran	12.40	9.00	3.50	12.40	3.50
未发酵杏鲍菇菌糠 Unfermented *Pleurotus eryngii* waste sticks				30.00	60.00
发酵杏鲍菇菌糠饲料 Fermented *Pleurotus eryngii* waste sticks feed	30.00	45.00	60.00		
菜籽油 Rapeseed oil	1.10	3.00	5.00	1.10	5.00
石粉 Limestone	1.20	0.60	0.01	1.20	0.01
小苏打 $NaHCO_3$	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.10	0.25	0.40	0.10	0.40
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]					
干物质 DM	87.27	87.59	87.92	87.87	89.12
粗蛋白质 CP	13.47	13.82	14.17	12.91	13.05
钙 Ca	0.96	1.00	1.05	0.87	0.87
磷 P	0.42	0.44	0.45	0.39	0.38
消化能 DE/（MJ/kg）	12.29	12.16	12.10	12.24	12.00
代谢能 ME/（MJ/kg）	10.08	9.97	9.92	10.04	9.84

[1)]每千克预混料含 One kg of premix contained the following:VA 250 000 IU,VD 50 000 IU,VE 125 IU,VB_3 500 mg,VB_9 12 mg,P 18 g,Mg 2 g,Mn 1.5 g,Zn 2 g,Cu 250 mg,I 50 mg,Co 15 mg。

[2)]消化能和代谢能为计算值，其余均为实测值。DE and ME were calculated values, while the others were measured values.

1.3 测定指标和测定方法

1.3.1 发酵杏鲍菇菌糠饲料的发酵品质评定

1.3.1.1 感官评定

参考青贮饲料品质评定的方法，分别从色泽、气味、松软程度等对发酵杏鲍菇菌糠饲料进行感官评定[11]。

1.3.1.2 发酵特性及营养成分分析

取 3 g 发酵饲料鲜样，加入 30 mL 去离子水浸提 40 min 后用酸度计测定 pH；取发酵饲料鲜样用羟基联苯比色法测定乳酸（lactic acid,LA）含量[12-13]；干物质回收率（dry matter recovery,DMR）和气体损失率（gas loss rate,GL）计算公式如下：

$$\text{DMR（\%）}=\frac{\text{发酵后样品质量}\times\text{发酵后样品干物质含量}}{\text{发酵前样品质量}\times\text{发酵前样品干物质含量}}\times 100;$$

$$\text{GL（\%）}=\frac{\text{发酵前样品质量}-\text{发酵后样品质量}}{\text{发酵前样品质量}\times\text{发酵前样品干物质含量}}\times 100。$$

发酵结束后将样品置于鼓风干燥烘箱，65 ℃烘干至恒重，经 24 h 充分回潮后粉碎过 40 目筛，装袋备用。干物质含量通过使用冠亚水分测定仪测出水分后计算得到；粗纤维含量按照 GB/T 6434-1994 测定；酸性洗涤纤维含量按照 NY/T 1459-2007 测定；中性洗涤纤维含量按照 GB/T 20806-2006 测定；半纤维素含量由中性洗涤纤维与酸性洗涤纤维含量的差值计算得到；粗灰分（Ash）含量按照 GB/T 6438-2007 测定；粗蛋白质含量按照 GB/T 6432-1994 测定；可溶性碳水化合物含量采用硫酸—蒽酮比色法测定[14]；有机物含量由干物质和粗灰分的差值计算得到。

1.3.1.3 黄曲霉毒素B_1（aflatoxin B_1,AFB_1）的测定

黄曲霉毒素 B_1 含量使用美国 Beacon 公司生产的黄曲霉毒素 B_1 酶联免疫吸附试验(ELISA)快速检测试剂盒检测，方法按照产品说明书，使用仪器为美国热电公司生产的 Multiskan-FC 型酶标仪。

1.3.2　山羊生产性能的测定

体增重：正试期第1天和最后1天早晨空腹分别称取始重和末重，二者之差为体增重；平均日增重：体增重与试验天数之比；料重比：干物质采食量与体增重之比；增重饲料成本：试验期料重比与每千克饲料价格的乘积。

1.4　数据分析

试验数据采用SPSS 20.0软件进行单因素方差分析，用Duncan氏法进行多重比较，以 P＜0.05为差异显著性标准。

2　结果与分析

2.1　发酵杏鲍菇菌糠饲料感官评价

发酵杏鲍菇菌糠饲料均呈暗黄色，而未发酵的菌糠颜色发白。发酵杏鲍菇菌糠饲料均无霉变情况发生，质地松散，无黏手现象，有浓郁的酒香味和乳酸香味。

2.2　发酵杏鲍菇菌糠饲料的发酵特性及营养成分分析

由表3可知，豆粕和麸皮添加比例对发酵杏鲍菇菌糠饲料的pH影响不显著（P>0.05）。麸皮和豆粕添加比例分别为4%和4%、2%和2%时，发酵杏鲍菇菌糠饲料的DMR显著高于其他组2组（P<0.05）；麸皮和豆粕添加比例分别为4%和2%时，发酵杏鲍菇菌糠饲料的GL显著高于其他组（P<0.05）；麸皮和豆粕添加比例分别为4%和4%、2%和4%时，发酵杏鲍菇菌糠饲料的乳酸含量显著高于麸皮和豆粕添加比例为2%和2%时（P<0.05）。

麸皮和豆粕添加比例分别为4%和4%、4%和2%时，发酵杏鲍菇菌糠饲料的粗纤维、中性洗涤纤维及酸性洗涤纤维含量显著低于其他组（P<0.05）；麸皮和豆粕添加比例分别为2%和2%时，半纤维素量显著低于其他组（P<0.05）；麸皮和豆粕添加比例分别为4%和2%、2%和2%时，粗灰分含量显著高于其他组（P<0.05）；麸皮和豆粕添加比例分别为4%和4%、2%和4%时，粗蛋白质含量显著高于其他2组（P<0.05）；麸皮和豆粕添加比例分别为2%和4%时，有机物含量显著高于其他组（P<0.05）；麸皮和豆粕添加比例分别为2%和4%、2%和2%时，可溶性碳水化合物含量显著高于其他2组（P<0.05）。

表 3　发酵杏鲍菇菌糠饲料的发酵特性及营养成分

Table 3　Fermentation characteristics and nutritional components of fermented *Pleurotus eryngii* waste sticks feed

项目 Items	麸皮和豆粕添加比例 Supplemental ratio of bran and	SEM	P 值 P-value

	soybean meal					
	4%和 4% 4% and 4%	4%和 2% 4% and 2%	2%和 4% 2% and 4%	2%和 2% 2% and 2%		
pH	4.59	4.59	4.62	4.61	0.01	0.68
干物质回收率 DMR/%	99.70^{a}	97.77^{b}	97.05^{b}	99.45^{a}	0.35	<0.01
气体损失率 GL/%	1.32^{b}	2.36^{a}	1.41^{b}	1.45^{b}	0.13	<0.01
乳酸 LA/%	0.16^{ab}	0.15^{b}	0.17^{a}	0.11^{c}	0.01	<0.01
粗纤维 CF/%	25.10^{b}	24.82^{b}	25.48^{a}	25.58^{a}	0.10	0.01
中性洗涤纤维 NDF/%	58.77^{b}	58.60^{b}	59.82^{a}	60.12^{a}	0.21	<0.01
酸性洗涤纤维 ADF/%	41.74^{c}	41.63^{c}	42.33^{b}	43.81^{a}	0.27	<0.01
半纤维素 HC/%	17.04^{b}	16.97^{b}	17.49^{a}	16.31^{c}	0.13	<0.01
粗灰分 Ash/%	11.83^{b}	12.28^{a}	11.71^{c}	12.01^{a}	0.07	<0.01
粗蛋白质 CP/%	12.19^{a}	11.55^{b}	11.96^{a}	11.26^{c}	0.11	<0.01
有机物 OM/%	60.40^{b}	58.51^{c}	61.45^{a}	60.37^{b}	0.34	<0.01
可溶性碳水化合物 WSC/%	7.08^{b}	6.75^{b}	7.92^{a}	8.00^{a}	0.19	0.01

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，相同或无字母表示差异不显著(P>0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.3 发酵杏鲍菇菌糠饲料的饲料卫生检测结果

由表4可知，发酵杏鲍菇菌糠饲料黄曲霉毒素B_1的含量均在国家《饲料卫生标准》GB 13078-2017的要求范围（≤10～20 μg/kg）内。麸皮和豆粕的添加比例对黄曲霉毒素B_1的含量影响不显著（P>0.05）。

综合考虑，豆粕和麸皮添加比例为4%和2%的发酵杏鲍菇菌糠饲料发酵品质最佳，且黄曲霉毒素B_1含量较低，因此选择此配方和发酵工艺进行生产发酵，并制作饲粮用于开展山羊饲喂效果的研究。

表4 发酵杏鲍菇菌糠饲料的黄曲霉毒素B_1含量

Table 4 Aflatoxin B_1 content of fermented *Pleurotus eryngii* waste sticks feed

项目 Items	麸皮和豆粕添加比例 Supplemental ratio of bran and soybean meal				SEM	P 值 P-value
	4%和 4% 4% and 4%	4%和 2% 4% and 2%	2%和 4% 2% and 4%	2%和 2% 2% and 2%		
黄曲霉毒 B_1 AFB_1/(μg/kg)	4.11^{ab}	3.94^{b}	3.03^{c}	4.71^{a}	0.20	<0.01

2.4 发酵杏鲍菇菌糠饲料对山羊生产性能的影响

由表4可知，各组山羊的生产性能差异均不显著（P>0.05）；但随着发酵杏鲍菇菌糠饲料添加比例的增加，试验羊的体增重及平均日增重有减少的趋势，料重比有增加的趋势。30%发酵杏鲍菇菌糠饲料添加组的体增重、平均日增重及干物质采食量上均高于30%未发酵杏鲍菇菌糠添加组，料重比低于30%

未发酵杏鲍菇菌糠添加组，差异均不显著（*P*>0.05），饲料成本也差异不显著（*P*>0.05）；60%发酵杏鲍菇菌糠饲料添加组的体增重、平均日增重及干物质采食量上均低于60%未发酵杏鲍菇菌糠添加组，料重比高于60%未发酵杏鲍菇菌糠添加组，差异均不显著（*P*>0.05），饲料成本也差异不显著（*P*>0.05）。

综合考虑，在饲粮中添加30%的发酵杏鲍菇菌糠饲料能够获得较好的饲喂效果。

表5　发酵杏鲍菇菌糠饲料对山羊生产性能的影响

Table 5　Effects of fermented *Pleurotus eryngii* waste sticks feed on performance of goats

项目 Items	发酵杏鲍菇菌糠饲料添加比例 Fermented *Pleurotus eryngii* waste sticks feed supplemental ratio/%			未发酵杏鲍菇菌糠添加比例 Unfermented *Pleurotus eryngii* waste sticks supplemental ratio/%		SEM	*P* 值 *P*-value
	30	45	60	30	60		
始重 Initial weight/kg	27.81	27.56	26.92	27.63	29.04	0.22	0.92
末重 Final weight/kg	36.03	35.50	33.24	35.07	36.05	0.24	0.91
体增重 BWG/kg	8.22	7.94	6.33	7.45	7.01	0.83	0.54
平均日增重 ADG/(g/d)	182.60	176.30	133.15	165.37	155.74	0.93	0.49
干物质采食量 DMI/(kg/d)	1.42	1.47	1.38	1.32	1.51	0.74	0.59
料重比 F/G	7.95	8.36	10.10	8.01	9.91	2.77	0.09
饲料价格 Feed price/(元/kg)	1.58	1.47	1.41	1.49	1.27		
饲料成本 Feed cost/(元/kg)	12.56	12.29	14.24	11.93	12.59	0.99	0.45

3　讨　论

3.1　复合发酵对杏鲍菇菌糠饲料品质的影响

食用菌菌糠是食用菌生产后废弃的固体培养基，又称菌渣，是由菌丝体和棉籽壳、木屑、秸秆等农业废料组成的复合物，其有机质含量高，各种养分齐全[15]。通过酶解作用等生物转化过程，菌糠的风味和营养价值比发酵前有所提高[16]。现阶段已有一些关于菌糠饲料发酵工艺的研究。班雯婷等[17]分别用枯草芽孢杆菌和产朊假丝酵母发酵灵芝菌糠，发现菌糠中木质纤维素的降解率达 47.20%，粗蛋白质含量由 6.12%增加至 13.84%；李志涛等[18]得到提高发酵白灵菇菌糠粗蛋白质的最佳条件为：酵母菌、乳酸菌添加比例为 1︰3，菌液添加量为 3%，35 ℃下发酵 15 d；徐淏等[19]以 88%的杏鲍菇菌糠、2%的尿素、10%的麸皮为发酵基质组成，在料水比 1:2、温度 28 ℃、pH 自然的条件下，先后接种灵芝和酿酒酵母发酵 11 d，菌糠饲料的真蛋白质和粗多糖含量分别比接种前提高了 68.54%和 132.12%；李振等[20]研究表明，菌糠:玉米粉为 90:10，乳酸菌:酵母菌为 1:3、发酵温度为 28 ℃时菌糠饲料的粗蛋白质含量达到 18.24%。

本试验结果表明，豆粕和麸皮添加比例分别为4%和2%的发酵杏鲍菇菌糠饲料发酵品质最佳，且黄

曲霉毒素B_1含量较低；发酵后与发酵前相比粗纤维含量降低了8.78%，中性洗涤纤维含量降低了11.56%，酸性洗涤纤维含量降低了18.88%，粗蛋白质含量提高了19.32%，粗灰分含量提高了8.29%，黄曲霉毒素B_1含量低至3.03 μg/kg。菌糠经过杏鲍菇的出菇过程已消耗了发酵基质中的一部分碳源和氮源，在制作发酵杏鲍菇菌糠饲料时添加适当比例的豆粕和麸皮补充消耗的营养物质，利于EM原液中的微生物更好地生长，加快菌种的生长速度和发酵进程[21]。发酵过程中有酵母菌、乳酸菌、芽孢杆菌等多种活菌及其代谢产物，使菌糠饲料味道醇香浓郁，适口性好[22]，产生的乳酸可抑制有害菌的生长，减少黄曲霉生长的可能性，有效地抑制黄曲霉毒素B_1的产生。

3.2　发酵杏鲍菇菌糠饲料对山羊生产性能的影响

菌糠由于其原料组成中含有木屑、玉米芯等纤维素和木质素含量高的物质，使得其适口性差，导致动物采食量减少而影响生产性能。通过 EM 原液发酵，能改杏鲍菇菌糠的风味，降低纤维硬度，从而增强山羊食欲，提高生产力。目前，已有一些报道研究饲粮中添加菌糠饲料对育肥羊生产性能的影响，但其最适的添加比例各有不同。程云辉等[23]在波杂山羊饲粮中添加 20%的杏鲍菇菌糠可使每只羊的收益增加 3.3 元。Fazaeli 等[24]在肉羊饲粮中饲喂 20%以下的麦秸菌糠，平均日增重和干物质采食量均差异不显著，且不影响消化率。李大军等[3]用 5%~15%平菇菌糠替代育成绵羊精补料中的玉米，增重和综合经济效益最佳。李新等[25]在波尔山羊饲粮中添加 20%的杏鲍菇菌糠可提高羊肉品质。郭万正等[26-27]在波尔山羊羔羊饲粮中添加 12%～20%的发酵杏鲍菇菌糠饲料，平均日增重可达到 122～137 g/d，添加 10%的金针菇菌糠，增重效果和经济效益最佳。陆亚珍等[28]研究表明，在波杂山羊育肥期发酵菌糠的适宜添加比例为 50%。

本试验用发酵杏鲍菇菌糠饲料与未发酵杏鲍菇菌糠配制饲粮饲喂马头山羊，结果表明虽然各组增重效果差异不显著，但随着发酵杏鲍菇菌糠饲料添加比例的增加试验羊的生产性能下降，说明其在山羊饲粮中的占比不宜太高；在最适添加比例（30%）时，饲喂发酵杏鲍菇菌糠饲料的平均日增重和体增重均高于饲喂未发酵杏鲍菇菌糠，料重比低于饲喂未发酵杏鲍菇菌糠。这与刘志芳等[6]、郭万正等[29]的研究结果一致。原因一是利用益生菌对杏鲍菇菌糠进行发酵后，矿物质元素转化率提高，与菌体内的蛋白质、氨基酸、多糖等结合，大部分以有机态存在，易于吸收，有较高的利用率和生物学活性[30-31]；二是微生物发酵饲料中的有益菌群能在动物消化道繁衍，产生多种消化酶，增强山羊对纤维等大分子物质的降解作用，同时诱导动物机体内源消化酶的分泌，从而使发酵杏鲍菇菌糠饲料的转化率提高[32]。山羊对发酵杏鲍菇菌糠饲料表观消化率的影响将另文报道。

4　结　论

①使用EM原液，添加4%豆粕和2%麸皮混和发酵，可提升发酵杏鲍菇菌糠饲料的发酵品质。

②山羊饲粮中添加30%发酵杏鲍菇菌糠饲料可取得较好的饲喂效果。

参考文献：

[1]PARK J H,KIM S W,DO Y J,et al.Spent mushroom substrate influences elk (*Cervus elaphus canadensis*) hematological and serum biochemical parameters[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2012,25(3):320–324.

[2]李进杰,焦镭,李鹏伟.食用菌糠在肉羊育肥中的应用试验[J].黑龙江畜牧兽医,2005(8):69–70.

[3]李大军,李玉.平菇菌糠替换绵羊日粮中玉米的饲喂效果试验[J].饲料工业,2011,32(3):33–35.

[4]文建国,尧辉宣,杨应东,等.玉米芯菌糠微贮处理后对山羊育肥的效果试验研究报告[J].攀枝花科技与信息,2012,37(4):29–32.

[5]齐永玲,王力生,程建波,等.菌糠替代苜蓿干草对奶牛生产性能及血清生化指标的影响[J].中国饲料,2013(11):10–12.

[6]刘志芳,王建武,杨瑞基,等.杏鲍菇菌糠对奶牛、肉牛、肉羊饲喂效果研究[J].饲料工业,2013(9):33–37.

[7]莫化塘,邱炎,李素英.平菇菌糠饲喂肉牛增重试验[J].湖北畜牧兽医,2016,37(6):10–11.

[8]KWAK W S,JUNG S H,KIM Y I.Broiler litter supplementation improves storage and feed-nutritional value of sawdust-based spent mushroom substrate[J].Bioresource Technology,2008,99(8):2947–2955.

[9]岳斌,李守东.不同剂量酶制剂调制玉米芯饲喂肉羊效果[J].当代畜牧,2011(3):32–33.

[10]PHAN C W,SABARATNAM V.Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes[J].Applied Microbiology and Biotechnology,2012,96(4):863–873.

[11]刘建新,杨振海,叶均安.青贮饲料的合理调制与质量评定标准(续)[J].饲料工业,1999,20(4):3–5.

[12]罗建,林标声,何玉琴,等.微生物发酵饲料中乳酸含量的测定方法比较分析[J].饲料博览,2012(5):37–39.

[13]梁琼,鲁明波,卢正东,等.对羟基联苯法定量测定发酵液中的乳酸[J].食品科学,2008,29(6):357–360.

[14]OWENS V N,ALBRECHT K A,MUCK R E,et al.Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and *Alfalfa* silage harvested with varying levels of total nonstructural carbohydrates[J].Crop Science,1999,39(6):1873–1880.

[15]彭涛,余水静,程素.食用菌菌糠综合利用研究进展[J].安徽农业科学,2016,44(9):78–80.

[16]XU F Z,LI L M,XU J P,et al.Effects of fermented rapeseed meal on growth performance and serum parameters in ducks[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2011,24(5):678–684.

[17]班雯婷,陈瑞荣,康佩姿,等.灵芝菌糠二次增效发酵的营养变化研究[J].饲料研究,2017(2):23–26,36.

[18]李志涛,李海燕,马腾壑,等.白灵菇菌糠发酵饲料的加工调制与优化[J].黑龙江畜牧兽医,2016(5):156–158.

[19]徐淏,王红连,周群兰,等.微生物分步发酵法制备功能性高蛋白菌糠饲料的研究[J].饲料工业,2015(10):47–52.

[20]李振,蔡柳萍,庞全海.混菌发酵菌糠生产饲料的初步研究[J].饲料博览,2010(7):37–39.

[21]XU C C,CAI Y M,ZHANG J G,et al.Feeding value of total mixed ration silage with spent mushroom substrate[J].Animal Science Journal,2010,81(2):194–198.

[22]张变英,王芳,张红岗,等.菌糠的营养价值与开发利用[J].山西农业科学,2016,44(8):1197–1199.

[23]程云辉,钟声,钱勇,等.肉羊育肥饲料中添加秸秆菌糠的效果研究[J].草业与畜牧,2008(4):47–49.

[24]FAZAELI H,MASOODI A R T.Spent wheat straw compost of *Agaricus bisporus* mushroom as ruminant feed[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2006,19(6):845–851.

[25]李新,王轶,汪兰,等.杏鲍菇菌糠全混合日粮对波尔山羊肉品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2016,7(9):3623–3628.

[26]郭万正,魏金涛,赵娜,等.杏鲍菇菌糠配制波尔山羊全混合颗粒日粮的研究[J].中国畜牧杂志,2016,52(15):27–32.

[27]郭万正,赵娜,魏金涛,等.金针菇菌糠配制波尔山羊羔羊全混合颗粒日粮研究[J].中国饲料,2017(3):37–40.

[28]陆亚珍,王恒昌,申远航,等.杏鲍菇菌糠的营养价值评价及其在羊日粮中的应用效果[J].安徽农业科学,2017,45(3):117–118,166.

[29]郭万正,魏金涛,赵娜,等.发酵金针菇菌糠对波尔山羊生长性能和血液生化指标的影响[J].饲料研究,2015(23):33–36.

[30]李静,高兰阳,沈益新.乳酸菌和纤维素酶对稻草青贮品质的影响[J].南京农业大学学报,2008,31(4):86–90.

[31]吴波,朱国法,郑典福,等.发酵糟渣混合料比例优化应用效果[J].中国草食动物科学,2016,36(1):71–73.

[32]彭忠利,郭春华,柏雪,等.微生物发酵饲料对山羊生产性能的影响[J].贵州农业科学,2013,41(6):134–137.

Fermentation Condition of *Pleurotus eryngii* Waste Sticks Feed and Its Feed Effects on Goats

GAO Xuhong[1] DOU Linmin[2] LI Jiateng[1] CHEN Lei[2] ZHANG Enping[1*]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Northwest A & F University*, *Yangling* 712100, *China*; 2. *Shaanxi Chinese Mushrooms Tech. Industry Garden Co*., *Ltd.*, *Baoji* 721000, *China*)

Abstract: To explore the suitable fermentation conditions for *Pleurotus eryngii* waste sticks (PEWS) mixed with soybean meal and bran, as well as the effects of fermented PEWS feed on performance of *Matou* goats. In test 1, PEWS were used as the main raw materials, and different ratios of bran and soybean meal (4% and 4%, 4% and 2%, 2% and 4%, as well as 2% and 2%) were supplemented. The fermentation agent was effective microorganisms (EM) original liquid. The moisture was adjusted to about 30%. After 12 days of anaerobic fermentation at room temperature, fermentation quality, nutritional components and aflatoxin B_1 (AFB_1) contents were evaluated. The best combination was selected for feeding test. In test 2, sixty *Matou* goats (wethers) were randomly divided into 5 groups including 3 experimental groups and 2 control groups. Fermented PEWS feed supplemental ratio in experimental groups were 30%, 45% and 60%, respectively, and unfermented PEWS supplemental ratio in control groups were30% and 60%, respectively. Each group had three replicates with 4 goats per replicate. The test lasted for 45 d including 5 d of pre-test period and 40 d of test period. The results showed as follows: 1) When the supplemental ratios of soybean meal and bran were 4% and 2%, respectively, fermentation quality of fermented PEWS feed was the best, and the content of AFB_1 was lower. Compared with unfermented PEWS, crude fiber, neutral detergent fiber and acid detergent fiber contents of fermented PEWS feed were decreased by 8.78%, 11.56% and 18.88%, respectively, crude protein and crude ash contents were increased by 19.32% and 8.29%, respectively, and AFB_1 content as low as 3.03 μg/kg. 2) There were no significant differences in performance of goats in different groups (P>0.05). With the increase of fermented PEWS feed supplemental ratio, body weight gain (BWG) and average daily gain (ADG) tended to be decreased, and feed to gain ratio (F/G) and feed cost tended to be increased. Compared with the supplementation of 30% unfermented PEWS, the supplementation of 30% fermented PEWS feed had higher BWG, ADG and dry matter intake, and lower F/G. In conclusion, using EM original liquid to ferment PEWS, the supplementation of 4% soybean meal and 2% bran can help improve fermentation quality; the supplemental ratio of 30% of fermented PEWS feed in diet for *Matou* goat is the best .

Key words: *Pleurotus eryngii* waste sticks; fermented feed; *Matou* goat; performance